

Hacia una Propuesta Integradora de Sistemas Basados en Conocimiento y de Descubrimiento

Claudio Rancán

Programa de Doctorado en Ciencias Informáticas. Facultad de Informática. Universidad Nacional
de La Plata

Centro de Ingeniería de Software Ingeniería del Conocimiento. Escuela de Postgrado. ITBA
claudioran@yahoo.com

Patricia Pesado

Instituto de Investigaciones en Informática LIDI. Facultad de Informática. Universidad Nacional de
La Plata - CIC

ppesado@lidi.info.unlp.edu.ar

Ramón García-Martínez

Centro de Ingeniería de Software Ingeniería del Conocimiento. Escuela de Postgrado. ITBA
Laboratorio de Sistemas Inteligentes. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires
rgm@itba.edu.ar

Abstract

This paper proposes a system architecture for integrating knowledge discovery and knowledge based systems. Some considerations on the development viability of the associated system are drawn based on the involved technologies maturity.

Keywords: Knowledge discovery. Knowledge based systems. Systems architectures

Resumen

En este trabajo se formula una propuesta de arquitectura de integración entre sistemas de descubrimiento de conocimiento (adquisición automática) y sistemas basados en conocimiento (sistemas expertos). Se formulan consideraciones sobre la viabilidad de implementación de dicha arquitectura en función de la madurez de las tecnologías involucradas.

Palabras Clave: Descubrimiento de conocimiento. Sistemas basados en conocimiento. Arquitecturas de Sistemas

1. INTRODUCCION

Los sistemas basados en conocimientos (SBC) ó sistemas expertos emulan el comportamiento humano experto en un área de conocimiento determinada. Constituyen sistemas de ayuda a la toma de decisiones en áreas tan diversas como la selección de estrategias instruccionales [1], el control de variables ambientales [2], la configuración de ventiladores en neonatología [3] la individualización y acuerdos para penas en procesos judiciales [4] o la generación asistida del mapa de actividades de proyectos de desarrollo de software [5]. Un tipo particular de sistemas basados en conocimiento lo constituyen los sistemas de ayuda a la toma de decisiones basados en conocimiento [6], [7], [8], [9], [10].

La base de conocimiento de un sistema experto encapsula en algún formalismo de representación (reglas, marcos, redes semánticas entre otras), el conocimiento del dominio que debe ser puesto en juego por el sistema para resolver un problema dado. Las metodologías de construcción de bases de conocimiento se han consolidado en los últimos 15 años [11], [12], [13].

Los sistemas inteligentes constituyen el campo de la Informática en el que se estudian y desarrollan algoritmos que implementan los distintos modelos de aprendizaje y su aplicación a la resolución de problemas prácticos [14], [15]. Entre los problemas abordados en este campo, está el de descubrir conocimientos [16], [17], [18], [19], [20], [21].

El descubrimiento de conocimiento (KD Knowledge Discovery) consiste en la búsqueda de patrones interesantes y de regularidades importantes en grandes bases de información [22], [23]. Al hablar de descubrimiento de conocimiento basado en sistemas inteligentes o Minería de Datos/Información Inteligente [24] nos referimos específicamente a la aplicación de métodos de aprendizaje automático u otros métodos similares, para descubrir y enumerar patrones presentes en dicha información. Uno de los paradigmas de descubrimiento de conocimiento se centra en la evaluación de conocimiento [25], sus estructuras [26], [27], [28], los procesos de adquisición distribuidos [29] y las tecnologías de sistemas inteligentes asociadas al descubrimiento de conocimiento [30].

La interacción entre sistemas basados en conocimiento y sistemas de descubrimiento tiene antecedentes en el paradigma de arquitecturas integradas de planificación y aprendizaje basado en construcción de teorías [31], [32], [33], [34], [35], [36] y arquitecturas híbridas de aprendizaje [37], [38], [39].

En este contexto en el presente artículo se presenta el problema (sección 2), se formula una propuesta integradora (sección 3), identificándose los componentes (sección 3.1) y la interacción entre ellos (sección 3.2), se proporciona un ejemplo que ilustra parcialmente como funcionaría el ambiente (sección 4) y se señalan algunas líneas de trabajo futuras (sección 5).

2. PROBLEMA

Trabajos recientes sobre sistemas de ayuda a la toma de decisiones estratégicos-operacionales (SATD-EO) basados en SBC [36] en áreas como el control aéreo [9] ó el alistamiento de unidades navales [40] han puesto de manifiesto que resulta un problema abierto la definición de cómo se pueden integrar a este tipo de sistemas, procesos de descubrimiento de conocimiento basados en aprendizaje automático [35] que les permitan mejorar “en línea” la calidad de la base de conocimientos utilizada para las ayuda a la toma de decisiones. Aproximaciones a la solución de esta cuestión son de interés para los llamados sistemas de ayuda a la toma de decisiones de mejoramiento incremental dentro del área de automatización de oficinas [41], [42], [43], [44].

3. HACIA UNA PROPUESTA INTEGRADORA

En este apartado se presentan los componentes de la propuesta integradora (sección 3.1) y las interacciones previstas entre dichos componentes (sección 3.2).

3.1. Identificación de los componentes

3.1.1. Las bases

En esta sección se describen: la base de conocimientos, el diccionario de conceptos, la base de ejemplos, la base de registros, la base de registros agrupados, la base de reglas de agrupamiento/clasificación, la base de reglas descubiertas y la base de conocimientos actualizada.

Base de Conocimientos:	Esta base encapsula el conocimiento del dominio del problema educido (elicitado) por el ingeniero de conocimiento, aportando las piezas de conocimiento (reglas) aplicables a la resolución del problema planteado por el usuario del sistema.
Diccionario de Conceptos:	Esta base guarda el registro de todos los conceptos utilizados en las distintas piezas de conocimiento (reglas) que integran la base de conocimiento. Para cada concepto guarda registro de los atributos correspondientes y de los valores posibles de cada atributo.
Base de Ejemplos:	Esta base guarda ejemplos de elementos que pertenecen a distintas clases. Los atributos de dichos ejemplos deben correlacionarse o ser coordinables con los atributos de los conceptos descriptos en el Diccionario de Conceptos.
Base de Registros:	Esta base guarda registros homogéneos de información sujeta a algún proceso de descubrimiento de conocimiento como por ejemplo agrupamiento.
Base de Registros Agrupados:	Esta base guarda registros homogéneos de información agrupados en clases sin rotular (clusters) como resultado de aplicar el proceso de agrupamiento a la Base de Registros.
Base de Reglas de Agrupamiento/Clasificación:	Esta base guarda piezas de conocimiento (reglas) descubiertas en forma automática como resultado de aplicar el proceso de inducción a la Base de Registros Agrupados y a la Base de Ejemplos.
Base de Reglas Descubiertas:	Esta base guarda piezas de conocimiento (reglas) pertinentes al dominio del problema como resultado de aplicar el proceso de rotulación conceptual a las piezas de conocimiento (reglas) descubiertas que se encuentran en la Base de Reglas de Agrupamiento/Clasificación.
Base de Conocimientos Actualizada:	Esta base encapsula el conocimiento que surge de la integración de las piezas de conocimiento (reglas) del dominio del problema educidas por el ingeniero de conocimiento y las piezas de conocimiento (reglas) descubiertas automáticamente como resultado de la aplicación de los procesos de agrupamiento/inducción a la Base de Registros: o inducción a la Base de Ejemplos.

3.1.2. Los procesos

En esta sección se describen los procesos: agrupador, inductor, rotulador conceptual, integrador de conocimiento y motor de inferencia.

Agrupador:	Este proceso se basa en la utilización de Mapas Auto Organizados para generar agrupamientos de registros que se encuentran en la Base de Registros. Dichos grupos se archivan en la Base de Registros Agrupados.
Inductor:	Este proceso se basa en la utilización de Algoritmos de Inducción para generar Reglas de Agrupamiento a partir de los grupos de registros que se encuentran en la Base de Registros Agrupados y Reglas de Clasificación a partir de los registros que se encuentran en la Base de Ejemplos.
Rotulador Conceptual:	Este proceso se basa en la utilización del Diccionario de Conceptos y la Base de Reglas de Agrupamiento/Clasificación (BR-A/C) para generar la Base de Reglas Descubiertas (BRD). Este proceso transforma las piezas de conocimiento obtenido (BR-A/C) en piezas de conocimiento coordinables (BRD) con la Base de Conocimientos.
Integrador de Conocimiento:	Este proceso genera la Base de Conocimientos Actualizada a partir de la Base de Reglas Descubiertas y de la Base de Conocimientos, resolviendo todos los problemas de integración entre ambas.
Motor de Inferencia:	Es el proceso que automatiza el razonamiento para producir una solución al problema planteado por el usuario a partir de las piezas de conocimiento disponibles en la Base de Conocimientos Actualizada o Base de Conocimientos.

3.2. INTERACCION ENTRE LOS COMPONENTES

En la figura 1 se presenta un esquema de cómo interactúan los distintos componentes. La Base de Conocimiento (BC) encapsula las piezas de conocimiento (reglas) necesarias para la resolución de problemas del dominio. Esta, en interacción con el motor de inferencia constituye el Sistema Basado en Conocimiento (Sistema Experto). A partir de los conceptos / atributos / valores que se encuentran en las distintas piezas de conocimiento dentro de la BC se construye el Diccionario de Conceptos (DC).

Cuando se produce una situación de descubrimiento de conocimiento porque el Inductor generó una Base de Reglas de Agrupamiento/Clasificación (BR-A/C), sea que ésta haya surgido de una Base de Ejemplos o de una Base de Registros Agrupados resultantes de Aplicar el Agrupador a una Base de Registros, las piezas de conocimiento (reglas) que se encuentran en la BR-A/C pueden presentar la característica de no estar coordinadas con las piezas de conocimiento disponibles en la BC.

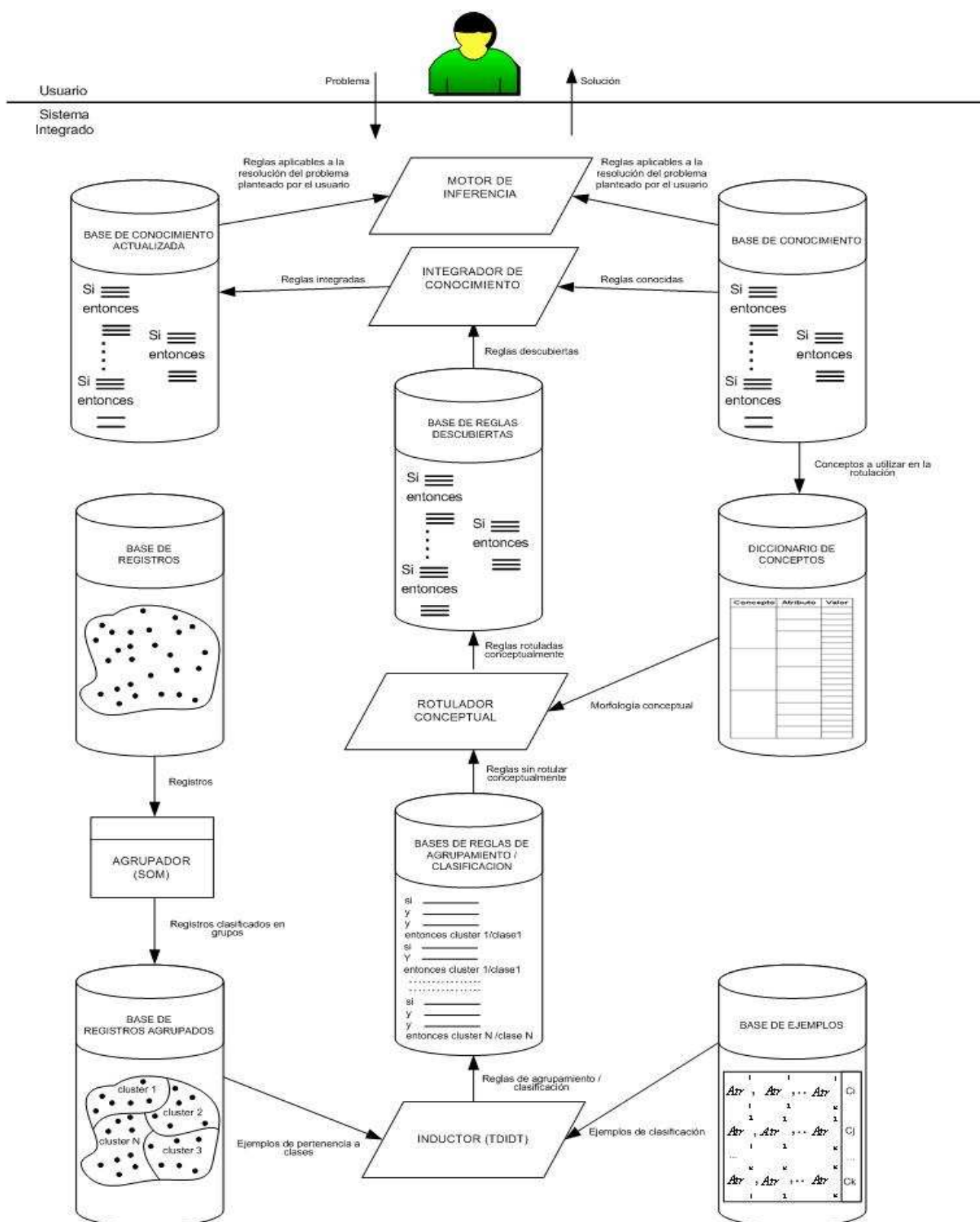


Figura 1. Esquema de interacción entre componentes y procesos

En este contexto actúa el Rotulador Conceptual que transforma las piezas de conocimiento de la BR-A/C en piezas de conocimiento coordinables con las correspondientes de la Base de Conocimientos generando la Base de Reglas Descubiertas.

El Integrador de Conocimiento toma la Base de Reglas Descubiertas y (resolviendo los problemas de integración emergente) la integra a la Base de Conocimientos, generando la Base de Conocimientos Actualizada. Esta pasa a ser la nueva Base de Conocimientos y se reinicia el ciclo.

4. UN EJEMPLO DE LABORATORIO

Sea la Base de Conocimiento cuyas reglas se ejemplifican en la tabla 1. Sea el Diccionario de Conceptos asociado a dicha BC que se muestra en la tabla 2.

SI	CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-1 = VALOR-1-1-1
Y	CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-1 = VALOR-2-1-1
Y	CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-1 = VALOR-3-1-1
ENTONCES	CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-1 = VALOR-4-1-1
SI	CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-1 = VALOR-1-1-2
Y	CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-1 = VALOR-2-1-2
Y	CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-1 = VALOR-3-1-2
ENTONCES	CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-1 = VALOR-4-1-2
SI	CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-1 = VALOR-1-1-3
Y	CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-2 = VALOR-2-2-1
Y	CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-2 = VALOR-3-2-1
ENTONCES	CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-2 = VALOR-4-2-1
SI	CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-2 = VALOR-1-2-1
Y	CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-2 = VALOR-2-2-1
Y	CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-2 = VALOR-3-2-2
ENTONCES	CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-2 = VALOR-4-2-2
SI	CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-2 = VALOR-1-2-2
Y	CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-3 = VALOR-2-3-1
Y	CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-2 = VALOR-3-2-3
ENTONCES	CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-1 = VALOR-4-1-1
SI	CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-3 = VALOR-2-3-2
ENTONCES	CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-2 = VALOR-4-2-2

Tabla 1. Base de Conocimiento

CONCEPTO-1	ATRIBUTO-1-1	VALOR-1-1-1
		VALOR-1-1-2
		VALOR-1-1-3
	ATRIBUTO-1-2	VALOR-1-2-1
CONCEPTO-2	ATRIBUTO-2-1	VALOR-2-1-1
		VALOR-2-1-2
	ATRIBUTO-2-2	VALOR-2-2-1
		VALOR-2-2-2
	ATRIBUTO-2-3	VALOR-2-3-1
		VALOR-2-3-2
CONCEPTO-3	ATRIBUTO-3-1	VALOR-3-1-1
		VALOR-3-1-2
	ATRIBUTO-3-2	VALOR-3-2-1
		VALOR-3-2-2
CONCEPTO-4	ATRIBUTO-4-1	VALOR-4-1-1
		VALOR-4-1-2
	ATRIBUTO-4-2	VALOR-4-2-1

Tabla 2. Diccionario de Conceptos

Por otra parte sea la Base de Ejemplos que se encuentran descriptos en la tabla 3. El acrónimo “S/V” indica que no se dispone de valor para ese atributo en los ejemplos considerados.

ATRIBUTO-1-1	ATRIBUTO-1-2	ATRIBUTO-2-1	ATRIBUTO-2-2	ATRIBUTO-2-3	ATRIBUTO-3-1	ATRIBUTO-3-2	ATRIBUTO-4-1	ATRIBUTO-4-2
VALOR-1-1-3	VALOR-1-2-1	VALOR-2-1-1	VALOR-2-2-1	VALOR-2-3-1	VALOR-3-1-1	S/V	S/V	VALOR-4-2-2
VALOR-1-1-1	S/V	VALOR-2-1-2	VALOR-2-2-1	S/V	VALOR-3-1-2	S/V	S/V	VALOR-4-2-2
VALOR-1-1-1	VALOR-1-2-1	S/V	VALOR-2-2-2	S/V	S/V	VALOR-3-2-3	VALOR-4-1-1	S/V
VALOR-1-1-1	VALOR-1-2-2	VALOR-2-1-3	VALOR-2-2-1	VALOR-2-3-2	VALOR-3-1-2	S/V	S/V	VALOR-4-2-2
VALOR-1-1-2	S/V	VALOR-2-1-3	VALOR-2-2-2	S/V	S/V	VALOR-3-2-3	VALOR-4-1-1	S/V
VALOR-1-1-2	VALOR-1-2-2	S/V	VALOR-2-2-2	VALOR-2-3-2	S/V	VALOR-3-2-3	VALOR-4-1-1	S/V

Tabla 3. Base de Ejemplos

De la Base de Ejemplos el Inductor genera la Base de Reglas de Clasificación que se muestran en la tabla 4. El Rotulador Conceptual identifica la pertenencia de valores al dominio de atributos y la pertenencia de estos a la descripción de conceptos a partir de la información disponible en el Diccionario de Conceptos generando la Base de Reglas Descubiertas que se muestra en la tabla 5.

SI ATRIBUTO-2-1 = VALOR-2-2-1
ENTONCES ATRIBUTO-4-2 = VALOR-4-2-2

SI ATRIBUTO-3-2 = VALOR-3-2-3
ENTONCES ATRIBUTO-4-1 = VALOR-4-1-1

SI CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-1 = VALOR-2-2-1
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-2 = VALOR-4-2-2

SI CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-2 = VALOR-3-2-3
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-1 = VALOR-4-1-1

Tabla 4. Reglas de clasificación generadas por el Inductor

Tabla 5. Base de Reglas Descubiertas

El Integrador de Conocimiento analiza la Base de Reglas Descubiertas, no identifica conflictos de integración y procede a integrarla a la Base de Conocimiento existente generando la Base de Conocimiento Actualizada que se muestra en la tabla 6. Convirtiéndose esta en la nueva Base de Conocimiento.

SI CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-1 = VALOR-1-1-1
Y CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-1 = VALOR-2-1-1
Y CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-1 = VALOR-3-1-1
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-1 = VALOR-4-1-1

SI CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-1 = VALOR-1-1-2
Y CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-1 = VALOR-2-1-2
Y CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-1 = VALOR-3-1-2
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-1 = VALOR-4-1-2

SI CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-1 = VALOR-1-1-3
Y CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-2 = VALOR-2-2-1
Y CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-2 = VALOR-3-2-1
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-2 = VALOR-4-2-1

SI CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-2 = VALOR-1-2-1
Y CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-2 = VALOR-2-2-1
Y CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-2 = VALOR-3-2-2
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-2 = VALOR-4-2-2

SI CONCEPTO-1.ATRIBUTO-1-2 = VALOR-1-2-2
Y CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-3 = VALOR-2-3-1
Y CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-2 = VALOR-3-2-3
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-1 = VALOR-4-1-1

SI CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-3 = VALOR-2-3-2
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-2 = VALOR-4-2-2

SI CONCEPTO-2.ATRIBUTO-2-1 = VALOR-2-2-1
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-2 = VALOR-4-2-2

SI CONCEPTO-3.ATRIBUTO-3-2 = VALOR-3-2-3
ENTONCES CONCEPTO-4.ATRIBUTO-4-1 = VALOR-4-1-1

Tabla 6. Base de Conocimiento Actualizada

5. TRABAJOS RELACIONADOS

La obtención automática de piezas de conocimiento de utilidad es un tema de creciente interés en la comunidad de ingeniería de sistemas expertos [45], [46], [47]. Este trabajo se diferencia de los citados al proponer como mecanismo de obtención de reglas el uso coordinado de agrupamiento basado en mapas auto-organizados y algoritmos de inducción. Por otra parte, se aborda la identificación de los procesos necesarios para permitir la asimilación autónoma de las piezas de conocimiento generados por parte del sistema experto.

Con el propósito de disponer de procesos automáticos de mejora incremental en las respuestas de sistemas inteligentes aplicados a la resolución de problemas específicos, recientemente, se han propuesto modelos de integración de procesos de descubrimiento de conocimiento con: modelos

conexionistas [48], [49], [50], modelos de razonamiento basado en casos [51], modelos de generación de patrones no esperados [52], algoritmos genéticos [53], heurísticas de categorización técnica [54]. La propuesta que se formula en este artículo se diferencia de los trabajos mencionados en el hecho que propone un modelo de integración de descubrimiento de conocimiento (en forma de reglas) con ambientes de sistemas expertos, identificando la tecnología faltante que debe ser utilizada para resolver dicha integración.

6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LINEAS DE TRABAJO

En este trabajo se han presentado elementos para la integración entre sistemas de descubrimiento y sistemas basados en conocimiento. Se estima que las tecnologías involucradas tienen la madurez suficiente para considerar viable la arquitectura asociada a dicha integración.

En los distintos procesos y en como estos interactúan con las distintas bases se han identificado algunos problemas en cuya solución se prevé trabajar:

- En el Inductor: como utilizar los conjuntos de soporte para proporcionar un grado de credibilidad (confianza) a la pieza de conocimiento generada (regla).
- En el Rotulador Conceptual: [a] definir el tratamiento a dar a valores de atributos de conceptos que se encuentren en las reglas descubiertas pero no en el Diccionario de Conceptos que surge de la Base de Conocimientos de la versión original del Sistema Basado en Conocimiento y [b] como reescribir la pertenencia a un determinado grupo (parte derecha de la regla) en términos de valores de atributos de conceptos conocidos cuando las piezas de conocimiento (reglas) resulten de aplicar el Inductor al Agrupador.
- En el Integrador de Conocimiento se debe definir el tratamiento a dar cuando del proceso de integración entre las reglas de la BC y las reglas descubiertas surjan: [a] condiciones de punto muerto, [b] reglas cíclicas, [c] reglas redundantes, [d] reglas contradictorias, [e] reglas con conflictos de evidencia de soporte, entre otras.

Deben desarrollarse medidas “*a priori*” que permitan establecer la calidad del proceso de descubrimiento de conocimiento y su grado de integrabilidad a la base de conocimiento (BC) existente. El escalado de una BC con las piezas de conocimiento descubiertas en forma automática puede conllevar a una degradación de la BC original, por lo que debe explorarse (al menos teóricamente) cuales son las curvas de degradación de la calidad del proceso de descubrimiento de conocimiento identificando condiciones de borde del modelo sustentado en el marco teórico desarrollado.

7. REFERENCIAS

- [1] Sierra, E., Hossian, A. y García-Martínez, R. 2003. *Sistemas Expertos que Recomiendan Estrategias de Instrucción. Un Modelo para su Desarrollo*. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa. 1(1): 19-30. ISSN: 1695-288X. 2003.
- [2] Sierra, E., Hossian, A., García-Martínez, R. y Marino, P. 2005. *Sistema Experto para Control Inteligente de las Variables Ambientales de un Edificio Energéticamente Eficiente*. Proceedings de la XI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control. Universidad Nacional de Río Cuarto. Pág. 446-452.

- [3] Bermejo, F., Britos, P., Rossi, B y García Martínez, R. 2002. *Sistema de Asistencia para la Configuración de Ventiladores OAF en Neonatología*. Revista del Instituto Tecnológico de Buenos Aires. 28: 24-68. ISSN: 0326-1840. 2002.
- [4] Gómez, S., Perichinsky, G. y Garcia Martinez, R. 2001. *Un Sistema Experto Legal para la Individualización y Acuerdos para Penas*. Proceedings del Simposio Argentino de Informática y Derecho. Pág. 23-33. Septiembre. Editado por la Sociedad Argentina de Informática e Investigación Operativa.
- [5] Diez, E., Britos, P., Rossi, By García-Martínez, R. 2003. *Generación Asistida del Mapa de Actividades de Proyectos de Desarrollo de Software*. Reportes Técnicos en Ingeniería del Software. 5(1):13-18. ISSN 1667-5002.
- [6] García-Martínez, R. y Britos, P. 2004. *Ingeniería de Sistemas Expertos*. Editorial Nueva Librería.
- [7] Britos, P. 2001. *Sistema de Ayuda sobre Legislación Argentina en Riesgos de Trabajo*”. Tesis de Magíster en Ingeniería del Conocimiento. Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid.
- [8] Rizzi, M. 2001. *Sistema Experto Asistente de Requerimientos*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Escuela de Posgrado del Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- [9] Ierache, J. y Garcia-Martinez, R. 2004. *Sistema Experto Aplicado al Control del Espacio Aéreo*. Proceedings del IX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación.
- [10] Hossian, A. 2003. *Sistema de Asistencia para la Selección de Estrategias y Actividades Instruccionales*. Tesis de Magister en Ingeniería del Software. Escuela de Posgrado del Instituto Tecnológico de Buenos Aires.
- [11] Debenham, J. 1990. *Knowledge Systems Design*. Prentice Hall.
- [12] Debenham, J. 1998. *Knowledge Engineering: Unifying Knowledge Base and Database Design*. Springer-Verlag.
- [13] Gomez, A., Juristo, N., Montes, C. y Pazos, J. 1997. *Ingeniería del Conocimiento*. Editorial R. Areces. Madrid.
- [14] Michalski, R. S. 1991. *Toward an Unified Theory of Learning: An Outline of Basic Ideas*, Proceedings of the 3rd World Conference on the Fundamentals of Artificial Intelligence, Paris.
- [15] DeJong, G.F., Mooney, R.J. 1986. *Explanation-Based Learning: An Alternative View*, Machine Learning, 1: 145-176.
- [16] Michalski, R. S., Carbonell, J. G., Mitchell, T. M. (eds.). 1983. *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach, Vol. I*. Morgan-Kauffman
- [17] Michalski, R. S., Carbonell, J. G., Mitchell, T. M. (eds.), 1986. *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach, Vol. II*, Morgan-Kauffman
- [18] Michalski, R. Bratko, I. Kubat, M (eds.) 1998. *Machine Learning and Data Mining, Methods and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England
- [19] Michalski, R. S., Tecuci, G. (eds) 1994. *Machine Learning: A Multistrategy Approach, Vol. III*, Morgan Kauffman
- [20] Mitchell, T. M. 1996. *Machine Learning*, McGraw-Hill.
- [21] Michie, D. 1988. *Machine Learning in the next five years*, EWSL-88, 3rd European Working Session on Learning, Glasgow, Londres, Pitman.

- [22] Fayad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., Uhturudsamy, R. (eds). 1996. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, San Mateo, AAAI Press.
- [23] Grossman, R., Kasif, S., Moore, R., Rocke, D. and Ullman, J. 1999. *Data Mining Research: Opportunities and Challenges*, A Report of three NSF Workshops on Mining Large, Massive, and Distributed Data, January 1999, Chicago
- [24] Evangelos, S., Han, J, (eds). 1996. Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Portland, EE.UU.
- [25] Jensen D. 2002. *Knowledge Evaluation*. Handbook of Data Mining and Knowledge Discovery. Kloege, W. and J. Zytkow (Eds.). Oxford: Oxford University Press
- [26] Utgoff P., V. Lesser, and D. Jensen 2000. *Inferring task structure from data*. University of Massachusetts, Department of Computer Science. Technical Report UM-CS-2000-054.
- [27] Jensen D. and J. Neville 2002. *Schemas and models*. Proceedings of the Multi-Relational Data Mining Workshop, 8th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.
- [28] Neville J. and D. Jensen 2002. *Supporting relational knowledge discovery: Lessons in architecture and algorithm design*. Proceedings of the Data Mining Lessons Learned Workshop, 19th International Conference on Machine Learning.
- [29] Jensen D., Y. Dong, B. Lerner, E. McCall, L. Osterweil, S. Sutton Jr., and A. Wise 1999. *Coordinating agent activities in knowledge discovery processes*. In Proceedings of the International Joint Conference on Work Activities Coordination and Collaboration. pp. 137-146.
- [30] Britos, P., Hossian, A., García Martínez, R. y Sierra, E. 2005. *Minería de Datos Basada en Sistemas Inteligentes*. 876 páginas. Editorial Nueva Librería. ISBN 987-1104-30-8.
- [31] Fritz, W., García Martínez, R., Rama, A., Blanqué, J., Adobatti, R, y Sarno, M. 1989. *The Autonomous Intelligent System*. Robotics and Autonomous Systems, 5(2): 109-125.
- [32] García Martínez, R. & Borrajo Millán, D. 1996. *Unsupervised Machine Learning Embedded in Autonomous Intelligent Systems*. Proceedings of the XIV International Conference on Applied Informatics. Páginas 71-73. Innsbruck. Austria.
- [33] García Martínez, R. y Borrajo Millán, D. 1997. *Planning, Learning and Executing in Autonomous Systems*. Lecture Notes in Artificial Intelligence. 1348:208-210.
- [34] García Martínez, R. & Borrajo Millán, D. 1998. *Learning in Unknown Environments by Knowledge Sharing*. Proceedings of the Seventh European Workshop on Learning Robots. Páginas 22-32. Editado University of Edinburg Press.
- [35] García Martínez, R. y Borrajo Millán, D. 2000. *An Integrated Approach of Learning, Planning and Executing*. Journal of Intelligent and Robotic Systems 29(1):47-78.
- [36] Sierra, E., García-Martínez, R., Hossian, A., Britos, P. y Balbuena, E. 2006. *Providing Intelligent User-Adapted Control Strategies in Building Environments*. Research in Computing Science Journal, 19: 235-241.
- [37] Grosser, H., Britos, P. y García-Martínez, R. 2005. *Detecting Fraud in Mobile Telephony Using Neural Networks*. Lecture Notes in Artificial Intelligence 3533: 613-615.
- [38] Felgaer, P., Britos, P. and García-Martínez, R. 2006. *Prediction in Health Domain Using Bayesian Network Optimization Based on Induction Learning Techniques*. International Journal of Modern Physics C 17(3): 447-455.

- [39] Cogliati, M., Britos, P. y García-Martínez, R. (2006). *Patterns in Temporal Series of Meteorological Variables Using SOM & TDIDT*. Springer IFIP Series. Aceptado.
- [40] Rancán, C. 2004. *Arquitectura de Sistema Híbrido de Evaluación del Alistamiento de Unidades Navales Auxiliares*. Reportes Técnicos en Ingeniería del Software. 6(1): 45-54. ISSN 1667-5002.
- [41] La Battaglia, J., Rodriguez, I., Thomas, P., Pesado, P., Bertone, R. 2003. *Tecnología aplicada a gestión distribuida*. Proceedings de las XI Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM 2003. Universidad Nacional de La Plata – Argentina.
- [42] Miatón, I., Pesado, P., Bertone, R. y De Giusti. 2003. *Agentes Basados en Sistemas Distribuidos*. Proceedings V Workshop de Investigadores en Ciencia de la Computación.
- [43] De Giusti E., Mollo Brisco G., La Battaglia, J., Pasini, A. y Pesado, P. 2004. *Sistema de Simulación de Escenarios y Decisiones Empresarias*. Proceedings de las XII Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM 2004. Universidad Federal Do Paraná - Curitiba, Brasil.
- [44] Pesado, P. Feierherd G. y Pasini, A. 2005. *Requirement Specifications for Electronic Voting System*. Journal of Computer Science & Technology, 5(4): 312-319 . ISSN: 1666-6038
- [45] Hoffmann, F., Baesens, B., Mues, C. and Vanthienen, J. 2006. *Inferring descriptive and approximate fuzzy rules for credit scoring using evolutionary algorithms*. European Journal of Operational Research. (en prensa).
- [46] Cao, H., Recknagel, F. Joo, G., Kim, D. 2006. *Discovery of predictive rule sets for chlorophyll-a dynamics in the Nakdong River (Korea) by means of the hybrid evolutionary algorithm HEA*. Ecological Informatics, 1(1): 43-53.
- [47] Podgorelec, V., Kokol, P., Stiglic, M., Heričko, M., Rozman, I. 2005. *Knowledge discovery with classification rules in a cardiovascular dataset*. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 80: S39-S49.
- [48] Huang, M., Tsou, Y., Lee, S. 2006. *Integrating fuzzy data mining and fuzzy artificial neural networks for discovering implicit knowledge*. Knowledge-Based Systems, 19(6): 396-403.
- [49] Kasabov, K. 2006. *Adaptation and interaction in dynamical systems: Modelling and rule discovery through evolving connectionist systems*. Applied Soft Computing, 6(3): 307-322.
- [50] Carpenter, G., Martens, S., Ogas, O. 2005. *Self-organizing information fusion and hierarchical knowledge discovery: a new framework using ARTMAP neural networks*. Neural Networks, 18(3): 287-295.
- [51] Liu, D., Ke, C. 2006. *Knowledge support for problem-solving in a production process: A hybrid of knowledge discovery and case-based reasoning*. Expert Systems with Applications. (en prensa).
- [52] Moreno, M., Quintales, L., García, F., Polo, J. 2004. *Building knowledge discovery-driven models for decision support in project management*. Decision Support Systems, 38(2): 305-317.
- [53] Kim, M., Han, I. 2003. *The discovery of experts' decision rules from qualitative bankruptcy data using genetic algorithms* Expert Systems with Applications, 25(4): 637-646.
- [54] Leigh, W., Modani, N., Purvis, R., Roberts, R. 2002. *Stock market trading rule discovery using technical charting heuristics*. Expert Systems with Applications, 23(2): 155-159.